

INFRAESTRUTURA VERDE, CONCEITOS E APLICAÇÕES: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ESPAÇOS VERDES

SCHUH, Arthur Lorenzo¹
BARBOSA, Leonardo Cassimiro²

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão de literatura sobre a infraestrutura verde, explorando seus conceitos e definições, bem como os principais elementos que a compõem. O objetivo do estudo é avaliar as aplicações e benefícios dessa infraestrutura no contexto urbano, destacando como ela pode contribuir para o desenvolvimento sustentável e para a melhoria da qualidade de vida nas cidades. A metodologia adotada parte de uma revisão da literatura de artigos selecionados nas bases de dados Google Acadêmico, Scopus e Web of Science, e inclui a análise de casos internacionais e nacionais, como Taizhou, Staten Island, Berlim e o Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos, que ilustram diferentes escalas e abordagens na implementação da infraestrutura verde. O estudo identifica as vantagens significativas dessa infraestrutura, como a mitigação de impactos ambientais, a promoção da resiliência urbana e a melhoria dos serviços ecossistêmicos. Além disso, ressalta-se a importância de metodologias adaptáveis e multifuncionais que permitam sua aplicação em diferentes contextos urbanos, destacando tanto os benefícios quanto os desafios associados à sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE: infraestrutura verde, planejamento ambiental, desenvolvimento sustentável.

GREEN INFRASTRUCTURE, CONCEPTS AND APPLICATIONS: A LITERATURE REVIEW FOR GREEN SPACES DEVELOPMENT

ABSTRACT

This article presents a literature review on green infrastructure, exploring its concepts and definitions, as well as its main components. The study aims to evaluate the applications and benefits of this infrastructure in the urban context, highlighting how it can contribute to sustainable development and improve the quality of life in cities. The methodology adopted includes a literature review of articles selected from Google Scholar, Scopus, and Web of Science databases, and analyzes both international and national case studies, such as Taizhou, Staten Island, Berlin, and the Ibirapuera-Villa Lobos Green Corridor, which illustrate different scales and approaches to green infrastructure implementation. The study identifies significant advantages of green infrastructure, such as mitigating environmental impacts, promoting urban resilience, and enhancing ecosystem services. Moreover, it emphasizes the importance of adaptable and multifunctional methodologies that enable its application in various urban contexts, highlighting both the benefits and challenges associated with its implementation.

KEYWORDS: green infrastructure, environmental planning, sustainable development.

1. INTRODUÇÃO

Os espaços públicos podem ser utilizados para recreação, reflexão e relaxamento. Eles inspiram e enriquecem as nossas vidas. Estes lugares proporcionam serviços ecológicos vitais como água e ar puro. Mas, ironicamente, embora esses espaços sejam amplamente apreciados e desfrutados, as ações

¹ Docente do curso de Arquitetura e Urbanismo - FAG. Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela FAG. Especialista em Docência no Ensino Superior pela FAG. Mestrando em Arquitetura e Urbanismo pela UEM/ UEL. E-mail: thurlorenzos@gmail.com.

² Coordenador e docente do curso de Arquitetura e Urbanismo - UEM. Docente do curso de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPU UEM. Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela UEM. Mestre em Engenharia Urbana pela UEM. Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela USP. E-mail: lbarbosa@uem.br

nem sempre correspondem aos valores que eles representam. Muitas áreas de preservação viraram ilhas de natureza rodeadas por um “mar de desenvolvimento”, causando impactos diretos na nossa saúde, bem estar e no funcionamento de sistemas naturais que dão suporte ao nosso meio ambiente e a economia (BENEDICT; MCMAHON, 2006).

Neste sentido, cabe aqui voltar a atenção para as estratégias de planejamento que são capazes de restaurar esses sistemas ecológicos e mitigar os impactos do crescimento urbano. Sobre esse assunto, Vasconcellos (2015) aponta que a infraestrutura verde emerge como uma resposta ao novo paradigma de urbanização sustentável, buscando promover o desenvolvimento urbano de forma alinhada às questões ambientais e socioculturais. Madureira (2012) complementa que a infraestrutura verde (IV)³ surge como uma proposta de ordenamento das áreas verdes a partir da Revolução Industrial, com a finalidade de reduzir os problemas ambientais e sociais dos espaços urbanos, ou em outras palavras, como cita Schutzer (2014) a adaptação do meio urbano aos processos naturais.

Santos e Enokibara (2021) relatam que o interesse sobre o tema infraestrutura verde vem gradativamente aumentando no Brasil, e ultimamente o tema foi difundido em 5 áreas distintas de estudos. O entendimento do que a infraestrutura verde pode abranger, e algumas traduções, não é consensual entre os estudiosos desta temática, mas nota-se uma evolução na definição do termo e em sua abrangência. Inicialmente o termo direcionava seus estudos para a conservação ambiental, enquanto atualmente o conceito expandiu sua percepção para uma estratégia de planejamento ambiental em diferentes escalas. A tradução dos termos relacionados à IV reflete diferentes visões. Alguns autores adotam uma tradução literal dos termos de outros idiomas, sem levar em conta as adaptações feitas em textos técnicos no Brasil. Neste sentido, o presente artigo utiliza a adaptação dos termos para conceitos utilizados por outros autores na língua portuguesa, seguido dos termos originais em nota de rodapé.

A finalidade deste artigo é avaliar a revisão de literatura sobre o tema infraestrutura verde, apresentando uma revisão sobre seus conceitos, benefícios, aplicações e metodologia de implantação. Por conseguinte os objetivos específicos constituem em: I. Apresentar as definições e conceitos da infraestrutura verde e suas vertentes; II. Listar os possíveis benefícios alcançados através dessa infraestrutura; III. Exemplificar modelos de aplicação da infraestrutura verde no Brasil e no mundo; IV. Apresentar metodologias de implantação de uma estrutura verde.

³ IV: Sigla utilizada para se referir a infraestrutura verde.

2. METODOLOGIA

O material utilizado na revisão bibliográfica foi determinado a partir de buscas na plataforma Google Acadêmico, que “avalia o texto completo de cada documento, onde foi publicado, por quem foi escrito, bem como com que frequência e há quanto tempo foi citado em outra literatura acadêmica” (GOOGLE ACADÊMICO, 2024, tradução nossa). Para a pesquisa utilizou-se palavras-chave como: infraestrutura verde; infraestrutura ecológica; corredores verdes e parques lineares. Outro critério para filtrar o material utilizado, consiste na revisão das bibliografias mais utilizadas dentre as pesquisas acadêmicas, escolhidos a partir da análise do referencial teórico de artigos publicados, dissertações e teses. Destaca-se os trabalhos de Benedict e McMahon (2006), em “*Green infrastructure: linking landscapes and communities*”, e Ahern (2006), em “*Green infrastructure for cities: The spatial dimension*”, referenciados na maioria dos artigos analisados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Os processos de desenvolvimento e de urbanização das últimas décadas afetaram significativamente os sistemas naturais, sendo assim, esse cenário urge de novos comportamentos e posturas sobre os métodos de preservação ecológica que garantam a qualidade de vida. Nesse sentido, e com o intuito de favorecer uma análise sobre o tema, esta etapa apresenta: conceitos e definições de infraestrutura verde, com base nos estudos de Benedict e McMahon (2006), Ahern (2007), Schutzer (2014), dentre outros; elementos que compõem a IV; a importância da IV e sua contribuição para a sociedade e para o meio ambiente; modelos de IV aplicadas em diferentes escalas (metropolitana/ cidade, bairro/ distrito e local), e em diferentes regiões do mundo (Ásia, Europa e América do Norte); modelo de infraestrutura verde aplicado no Brasil; metodologias de implantação e seu funcionamento e processo em projetos de diferentes escalas.

3.1 DEFINIÇÃO DA INFRAESTRUTURA VERDE

Para um melhor entendimento sobre o termo infraestrutura verde, faz necessário compreender a origem do termo e a sua utilização. De acordo com Vasconcellos (2015), o termo foi utilizado pela primeira vez em 1994, desenvolvido pelo grupo *The Conservation Fund*, com o objetivo de criar soluções de conservação que equilibrassem interesses econômicos e ambientais. Benedict e McMahon (2006) complementam que o termo infraestrutura verde é recente, mas os estudos sobre este propósito, assim como a relação do homem com a natureza, iniciaram há mais de 150 anos, e sua

definição varia dependendo do contexto em que está inserido. De maneira mais ampla, refere-se a uma rede de áreas naturais interconectadas e espaços livres que mantêm as funções e os valores do ecossistema, garantindo a qualidade do ar e da água, além de oferecer múltiplos benefícios para as pessoas e a vida selvagem, sendo assim, é a estrutura ecológica para o meio ambiente e para a saúde econômica e social.

Para Ahern (2007) infraestrutura verde é um conceito de projeto que estrutura-se por um sistema de redes híbridas hidrológicas e de drenagem, responsáveis por conectar as áreas verdes e as infraestruturas que desempenham a função ecológica. Para isso, utiliza dos princípios de ecologia da paisagem para ambientes urbanos, uma abordagem multiescala que destaca as relações padrão: processo e ênfase na conectividade. Madureira (2012) ressalta a importância dos conceitos de continuidade e conectividade dos valores ecológicos e sociais para essa infraestrutura.

A IV não pode ser resumida em terras que ainda não foram desenvolvidas, parques ou áreas naturais isoladas, e tampouco é algo que pode optar em ter ou não ter. Proteger e restaurar o sistema que dá suporte a vida natural é uma necessidade e não uma amenidade. Assim, a infraestrutura verde também pode ser definida como um processo: sistemático e estratégico de abordagem à conservação de terras, seja em sua escala nacional, estadual ou local, com o intuito de promover práticas de planejamento que beneficiem tanto a natureza quanto as pessoas (BENEDICT; MCMAHON, 2006). Schutzer (2014) enfatiza a importância das paisagens multifuncionais que preservam os serviços ambientais e seus processos, em conjunto com os usos sociais. É composta por sistemas que garantem conservação dos biomas locais e regionais, protegendo também a fauna urbana e silvestre. Madureira (2012) acrescenta que o desafio da multifuncionalidade é articular entre áreas estruturais e funcionalmente diferenciadas para garantir a conectividade e sua continuidade espacial.

A infraestrutura verde é uma rede de espaços verdes interconectados que abrange uma variedade de ecossistemas naturais e nativos restaurados, incluindo: áreas naturais conservadas como zonas úmidas, florestas, hidrovias e corredores/habitat da vida selvagem; terras de conservação públicas e privadas, parques estaduais, reservas naturais; terras de trabalho com valores de conservação, como fazendas e ranchos; arborização urbana e outros espaços livres como parques urbanos, mirantes e vias verdes. Pode também incluir elementos que não estão necessariamente ligados com a proteção de ecossistemas naturais, como valores históricos, culturais, sítios arqueológicos importantes para a comunidade e outros lugares que fornecem rendimentos econômicos. Nem todos os elementos dessa infraestrutura são verdes, como rios e riachos que são fundamentais para essa infraestrutura. Os desertos do Sudoeste Americano e as montanhas de neve do Alasca também são cruciais para o desenvolvimento desses sistemas (BENEDICT; MCMAHON, 2006).

A infraestrutura verde é compreendida como uma rede ampla e diversificada de elementos ecológicos e culturais que se interconectam para sustentar a qualidade ambiental e os valores sociais. Sua abrangência vai além dos espaços naturalmente verdes, incorporando elementos essenciais ao equilíbrio dos ecossistemas e ao bem-estar humano, evidenciando sua relevância em diversas escalas geográficas e funcionais.

3.2 BENEFÍCIOS DA INFRAESTRUTURA VERDE

A Infraestrutura verde auxilia as comunidades fornecendo a estrutura para a conservação e desenvolvimento, que atende as necessidades das pessoas e do meio ambiente. Proporciona lugares para as pessoas morarem, trabalharem, fazerem compras e desfrutarem da natureza. Essa infraestrutura cruza as fronteiras políticas que abrangem diversas paisagens. Promove também a restauração, manutenção e a conservação estratégica dos sistemas naturais. Para isso, utiliza da identificação, proteção e a gestão de longo tempo de redes interconectadas de áreas livres e outros espaços conservados. Sendo assim, protege os valores e funções dos ecossistemas, além de proporcionar lazeres diversos, e benefícios sociais e econômicos para as pessoas (BENEDICT; MCMAHON, 2006).

Para proteger as paisagens e os cursos de água que nos sustentam como nação e nos definem como pessoas, precisamos de uma nova forma de olhar para nós próprios e para a terra que nos rodeia. As áreas naturais não são simplesmente terras que ainda não foram desenvolvidas. Os parques não são simplesmente lugares bonitos. As paisagens de trabalho não são apenas locais de produção de alimentos e fibras. Esses espaços abertos formam uma tapeçaria natural que nos conecta à nossa herança ao ar livre, uns aos outros e às comunidades em que vivemos. Infelizmente, loteamentos, estacionamentos e rodovias estão destruindo o próprio tecido que nos une (BENEDICT; MCMAHON, 2006, p. xiii, tradução nossa).

Pellegrino e Cormier (2008) denotam que estes espaços, através do reconhecimento e aproveitamento dos serviços naturais, oferecem uma gama de benefícios para as cidades. Estes serviços ecológicos podem ser classificados como: tratamento das águas pluviais e o abastecimento de águas, melhoria climática e a redução dos níveis de carbono. Eles explicam que a infraestrutura verde pode ser comparada a uma tapeçaria composta por diferentes tipos de espaços abertos, localizados dentro e ao redor das cidades. Essa estrutura pode ser aplicada em várias escalas: em nível regional, está presente em parques, corredores verdes e áreas naturais. No entanto, para sua viabilidade necessita da aplicação dos princípios da ecologia da paisagem.

A Infraestrutura verde é composta por áreas urbanas que podem ser totalmente ou semi permeáveis, que prestam serviços à cidade, gerenciados por um setor público ou privado. Franco

(2010, p. 143-144) ainda aponta 12 benefícios fornecidos pelos serviços desempenhados por essa infraestrutura:

1- Melhora da qualidade do ar promovendo a saúde humana; 2- Sequestro de carbono da atmosfera; 3- Amortização do balanço climático entre temperaturas baixas e altas no microclima urbano entre dia-noite e as estações do ano; 4- Proteção, conservação e recuperação da biodiversidade da flora e fauna na área urbana; 5- Contenção da erosão; 6- Promoção de atividades contemplativas, esportivas e de lazer; 7- Promoção da importância da paisagem como fator determinante da estética urbana; 8- Incremento do fator permeabilidade do solo urbano permitindo a percolação da água e portanto a redução de enchentes; 9- Articulação e conectividade entre espaços verdes; 10- Promoção da segurança urbana; 11- Proteção de áreas de fragilidade ecológica; 12- Promoção de áreas de alto valor imagético, icônico e de identidade de lugares e sítios urbanos.

Um componente importante da infraestrutura verde são as vias verdes, mais referidas no Brasil como parques lineares⁴. Sobre esse assunto, Barbosa e De Angelis (2012) relatam que a recuperação dos fundos de vale através de vias verdes e parques, além de proporcionar atividades de lazer e benefícios para a população, garante a manutenção da biodiversidade, recuperação da vegetação ciliar e a qualidade da água, ou seja, permitem a conciliação entre aspectos sociais, culturais e ecológicos no mesmo espaço, promovendo a integração entre o ser humano e o ambiente natural.

A infraestrutura verde, em sua totalidade, sintetiza uma abordagem integrada que oferece múltiplos benefícios às áreas urbanas e rurais. Ao promover a preservação da biodiversidade, melhorar a qualidade ambiental e fortalecer os laços sociais e culturais, ela se destaca como um elemento vital para o desenvolvimento sustentável. Essa rede multifuncional de espaços verdes não apenas contribui para a resiliência das cidades, mas também assegura que a interação harmoniosa entre o homem e a natureza seja mantida e valorizada, garantindo o bem-estar das comunidades e a sustentabilidade dos ecossistemas.

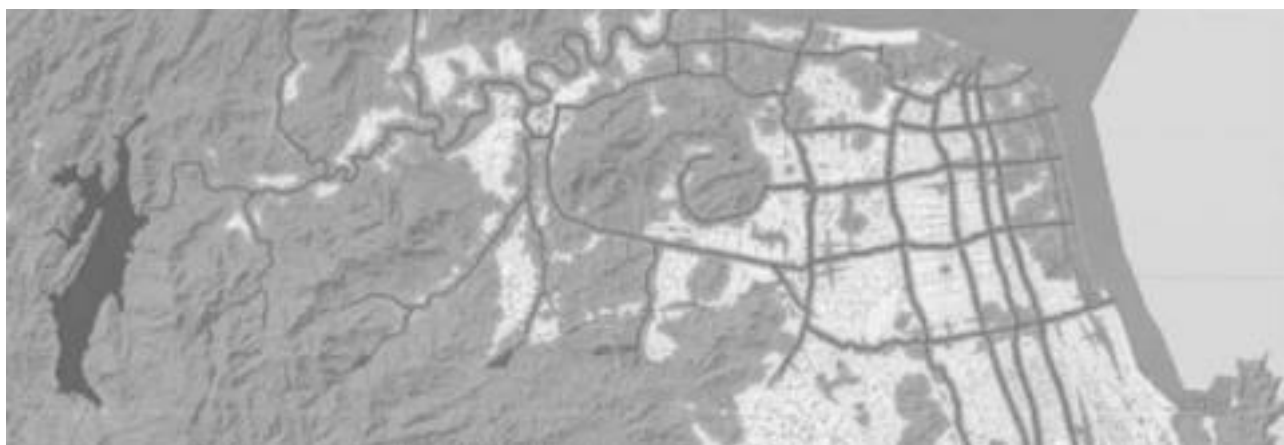
3.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO

Para melhor compreensão da aplicabilidade destes conceitos, esta etapa traz quatro exemplos de aplicações de infraestrutura verde, sendo três internacionais em diferentes continentes, e um nacional. Ahern (2007) elencou três exemplos de infraestrutura verde em diferentes escalas (metropolitana/ cidade, bairro/ distrito e local), em locais geograficamente distintos (Ásia, Europa e América do Norte).

⁴ Em inglês (original): *greenways* .

O exemplo inicial trata da Cidade de Taizhou, China - escala metropolitana/ cidade: O plano de infraestruturas ecológicas de Taizhou é uma resposta inovadora à pressão do processo de urbanização. Com 55 milhões de habitantes, a metrópole Chinesa localizada na costa Sudoeste, espera o aumento populacional de 115% nos próximos 25 anos. Uma extensa rede de água que integra cursos de águas naturais, zonas úmidas e valas artificiais definiu o caráter da paisagem cultural da cidade. Construída para amenizar as inundações, atualmente está sendo destruída pelas construções que emergem devido à economia em expansão. O arquiteto paisagista Kongian Yu desenhou um plano de infraestrutura ecológica apoiando recursos abióticos, bióticos e culturais, fornecendo os serviços ecossistêmicos sustentáveis, concomitantemente com desenvolvimento urbano e evitando a sua expansão. No plano, através da ecologia paisagística - que tornou-se além de benéfica, essencial para a cidade - o arquiteto aplica várias estratégias de planejamento, como padrões de segurança para a proteção contra inundações e a integração da água em toda a área urbana (AHERN, 2007). A figura 1 mostra alternativas para a infra-estrutura ecológica regional de Taizhou, cidade chinesa, na escala metropolitana/cidade:

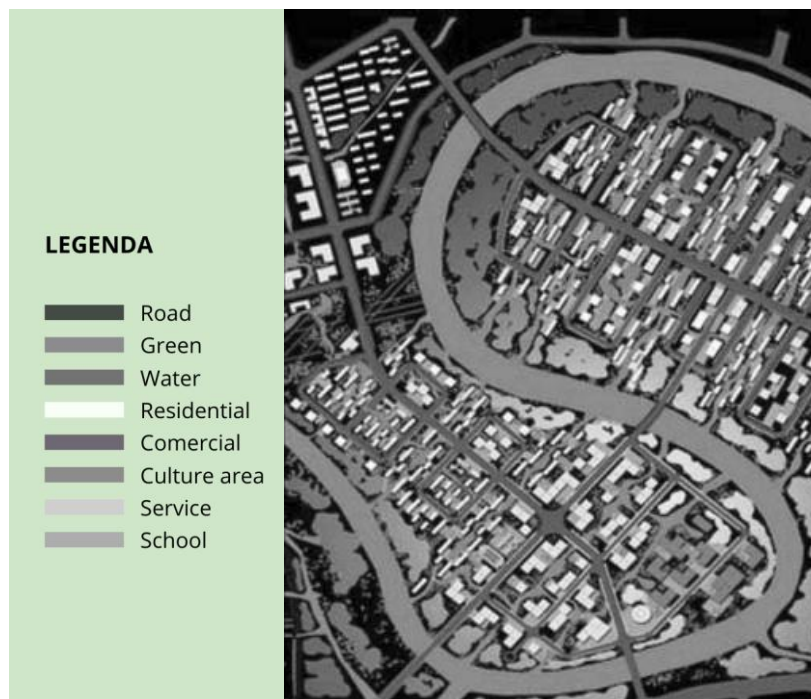
Figura 1 - Escala metropolitana/cidade: Taizhou, China.



Fonte: Turenscape (2006) *apud* Ahern (2007, p.277).

A figura 1 ilustra uma rede integrada de cursos d'água naturais, zonas úmidas e valas artificiais, concebida para mitigar inundações e promover a sustentabilidade ambiental em Taizhou. A infraestrutura, multifuncional e estrategicamente conectada, suporta o desenvolvimento urbano contínuo enquanto preserva os recursos hídricos. A Figura 2 destaca a distribuição das funções ecológicas do rio pelos bairros, enfatizando o gerenciamento de enchentes.

Figura 2 - plano cidade aquática de Taizhou, China



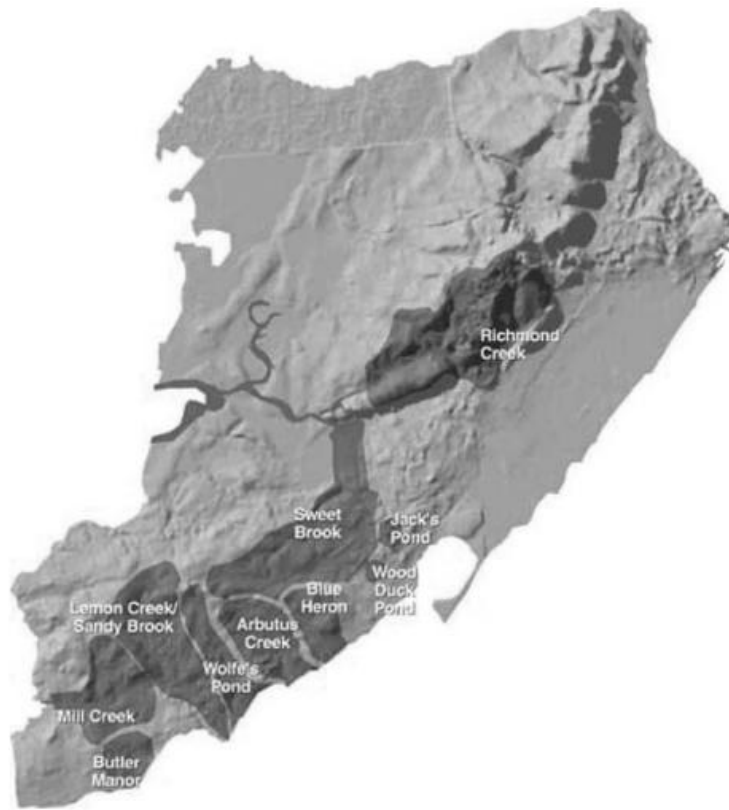
Fonte: Adaptado pelo autor, de Turenscape (2006) *apud* Ahern (2007, p.278).

O Plano da cidade aquática de Taizhou ilustra a distribuição das funções ecológicas do sistema fluvial pelos bairros, conectando espaços verdes através de "dedos verdes". Esses corredores multifuncionais ajudam na gestão das águas pluviais, mitigam inundações e criam ambientes urbanos saudáveis, reforçando a resiliência urbana e promovendo a qualidade de vida e a sustentabilidade. O plano adota uma abordagem multi-escala que abrange desde a escala regional até a distrital, integrando padrões de segurança com processos de conectividade, especialmente no que diz respeito ao sistema hídrico de uso múltiplo. A multifuncionalidade (figura 2) pode ser observada no sistema de águas e nos dedos verdes que percorrem os bairros residenciais da cidade (AHERN, 2007).

O segundo exemplo é o Cinturão Azul de Staten Island - escala bairro/distrito: Em 1980, Nova Iorque enfrentou problemas relacionados a inundações, qualidade da água e transbordamento combinado de esgotos. Para resolvê-los, a cidade desenvolveu um plano de gestão de água que incorporou extensas zonas úmidas, abrangendo 16 pequenas bacias hidrográficas urbanas (Figura 3). Elaborado por Ian McHarg, o plano Bluebelt utilizou de forma pioneira os princípios da ecologia da paisagem. Como um dos primeiros exemplos de infraestrutura verde, o plano integrou sistemas multifuncionais de águas pluviais e zonas úmidas à estrutura urbana, separando-os do sistema de esgoto e melhorando a gestão hídrica por meio da biorremediação, com a introdução de plantas aquáticas para remover contaminantes. Além de reduzir a quantidade e velocidade do escoamento, o plano também criou habitats naturais e espaços recreativos, fortalecendo a resiliência ecológica e

urbana (AHERN, 2007). A figura 3 ilustra a disposição dos 16 Cinturões Azuis e a integração dessas áreas na gestão hídrica da cidade.

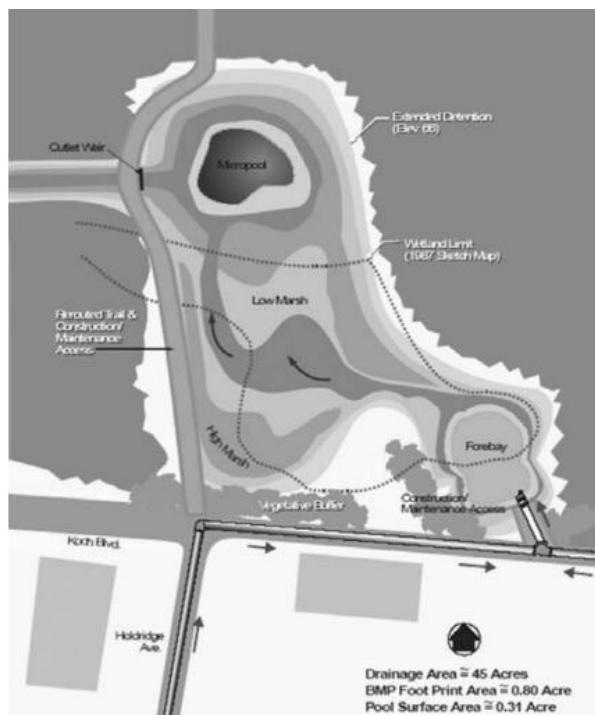
Figura 3 - Cinturões azuis de Staten Island, USA



Fonte: Staten Island USA (2004) *apud* Ahern (2007, p.277).

Com uma abordagem multiescala, o cinturão azul aborda bacias e sub-bacias hidrográficas e zonas úmidas. O plano de McHarg que inicialmente visava resolver as questões da qualidade da água, é um modelo para entender a relevância da conectividade em um sistema hidrológico complexo e híbrido. Além de potencializar a multifuncionalidade, como o habitat de vida selvagem, trilhas recreativas e proteção de áreas úmidas urbanas, também combinou a estratégia de proteção das zonas úmidas com a infraestrutura de gestão de águas pluviais (Figura 3). Uma infraestrutura benéfica, que foi desenvolvida a partir do “aprender fazendo” pelo monitoramento da qualidade e da gestão das águas. “Com o seu foco na gestão da água, aplicou com sucesso um padrão: compreensão do processo para mitigar problemas e promover oportunidades benéficas” (AHERN, 2007, p. 277-280).

Figura 4 - Gestão integrada de águas pluviais e zonas úmidas no Cinturão Azul de Staten Island



Fonte: Turenscape (2005) *apud* Ahern (2007, p.278).

A figura 4 ilustra a gestão integrada das águas pluviais e zonas úmidas no Cinturão Azul de Staten Island, destacando a conectividade em sistemas hidrológicos complexos. Ela demonstra como a proteção das zonas úmidas, combinada com infraestrutura de águas pluviais, mitiga inundações, melhora a qualidade da água e promove a multifuncionalidade dos espaços urbanos, oferecendo benefícios ecológicos e sociais duradouros.

O terceiro exemplo selecionado pelo autor refere-se ao Fator Biótopo/ Área Verde de Berlim - escala local: Entre 1945 e 1990, Berlim era uma ilha urbana inserida na República Democrática Alemã, e isso favoreceu o interesse público na ecologia urbana que, desde 1980, possui um movimento verde ativo. A ecologia proporciona a evapotranspiração da água, controle das águas pluviais, purificação do ar, fornecendo habitat para animais e plantas e garantindo as funções naturais do solo. O projeto utiliza de infraestruturas verdes modestas, incrementais e descentralizadas para melhorar a ecologia urbana. Com objetivo de contrariar a impermeabilidade crescente, o programa determina que edifícios novos/ renovados atinjam uma classificação de “fator verde”. Em cada técnica utilizada é pontuado de acordo com a contribuição para os objetivos do programa, junto com uma porcentagem da área local determina-se o fator verde (AHERN, 2007).

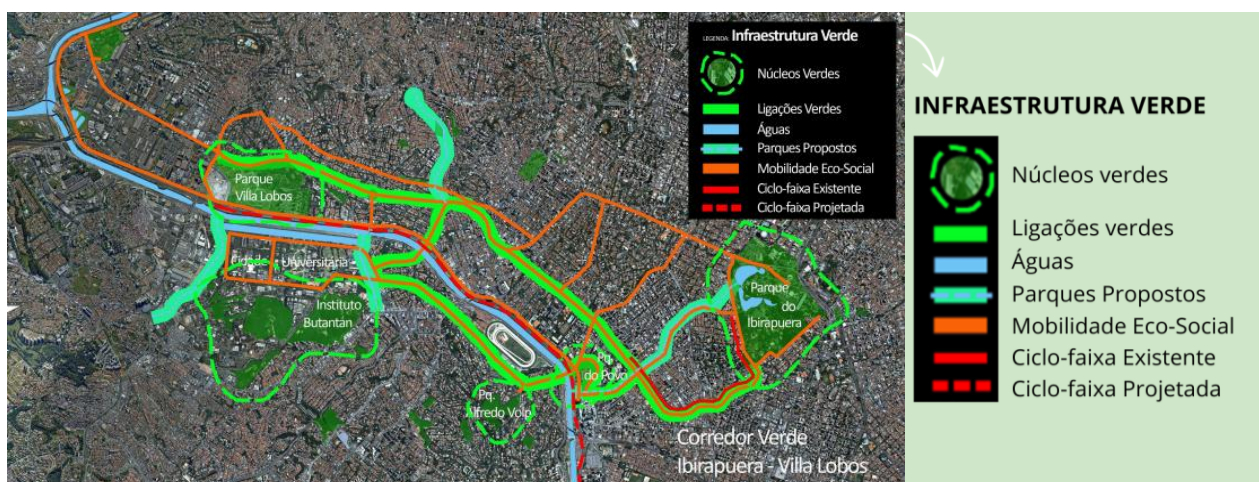
Tal programa, é aplicado a escala do bairro e deve decidir prioridades e avaliar as tecnologias e o desempenho, garantindo o progresso dos objetivos. Para isso, o programa estabelece metas de áreas verdes para os diferentes usos, sendo: 60% residencial, 40% de uso misto e 30% comercial/

central, divergindo de acordo com a intensidade do uso do solo. Se ativada na venda ou renovação de um imóvel, as metas devem ser implementadas por técnicas de ecologização disponíveis em um menu, dentre elas: telhados verdes, biovaletas, paisagismo de fachadas, pavimentação permeável e plantações. A estratégia do programa resume-se em “um monitoramento da eficácia cumulativa das técnicas de ecologização (registro do clima urbano, diversidade de espécies urbanas e qualidade da água e escoamento total)” (AHERN, 2007, p. 280-282).

Além dos três casos internacionais, cabe aqui elencar um modelo de aplicação de infraestrutura verde nacional. Nesta perspectiva, Franco (2010) destaca o Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos, ideário dos cidadãos paulistanos para reconquistar as várzeas do Rio Pinheiros⁵ (Figuras 5 e 6). Durante o século XX, o Rio Pinheiros teve suas várzeas danificadas pelo processo de urbanização da região devido à retificação e canalização do seu curso para alimentar a produção de energia elétrica das Represas Guarapiranga e Billings.

Em um período em que os investimentos em infraestrutura de energia elétrica, viária e de transporte rodoviária eram prioridades, os aterros e obras de drenagem eliminaram as zonas úmidas e transformaram os cursos d'água em tubos de escoamento de água, abaixo das avenidas de fundo de vale construídas na região. Essa estrutura de vias urbanas e interurbanas criava a mais importante infraestrutura rodoviária do país, facilitando a mobilidade intra e inter-urbana e ao mesmo tempo removendo a paisagem da Bacia do Alto Tietê. Remove-se sua rede hídrica, cobertura vegetal e seus biomas naturais, transformando-se de terra da garoa a uma imensa ilha de calor, mudando completamente o seu clima natural (FRANCO, 2010). A figura 5, ilustra um esquema conceitual da infraestrutura verde na várzea do Rio Pinheiros:

Figura 5 - Várzea do Rio Pinheiros



⁵ A área abrange, na margem direita, os distritos de Moema, Itaim-Bibi, Jardim Paulista, Pinheiros, Alto de Pinheiros e Vila Leopoldina e na margem esquerda, os distritos do Morumbi e Butantã (FRANCO, 2010).

A figura 5 ilustra o esquema conceitual da infraestrutura verde na várzea do Rio Pinheiros, São Paulo. Este modelo integra núcleos verdes de alto valor ecológico e sociocultural, além de ligações verdes que conectam corpos d'água existentes e propostos, promovendo a resiliência urbana e a recuperação ambiental das áreas degradadas pela urbanização.

Um exemplo dessa infraestrutura é o Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos, mostrado na figura 6, que utiliza o conceito de Resiliência Urbana⁶ para restaurar a paisagem degradada. O corredor integra parques, corpos d'água e uma rede de mobilidade ecológica, incentivando o uso sustentável dos espaços urbanos e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida na cidade (FRANCO, 2010).

Figura 6 - Corredor verde Ibirapuera-Lobos



Fonte: Adaptado pelo autor, de Franco (2010, p. 149-150).

Na proposta estão presentes os seguintes elementos: núcleos verdes com alto valor ecológico e sócio-cultural, composto por parques, sendo: Parque do Ibirapuera, Parque Villa Lobos, Parque Alfredo Volpi e Parque do Povo (Mário Pimenta Camargo), e áreas institucionais, sendo: Cidade Universitária (CUASO) e Instituto Butantan; Ligações Verdes incluindo ruas e avenidas arborizadas; corpos d'água existentes (Rio Pinheiros, Raia Olímpica da Cidade Universitária, Complexo Lacustre - Parque do Ibirapuera) e propostos, que resgatam a memória de quatro ribeirões contribuintes do Rio Pinheiros (ribeirões nos Parques Lineares P1 - junto ao Ribeirão do Sapateiro, P2 - junto ao Ribeirão das Corujas, P3 - junto ao Ribeirão Pirajuçara e P4 - junto ao Ribeirão do Jaguaré) e a mobilidade ecossocial/ rede de caminhos que oportunizam o andar a pé e de bicicleta, como: calçadas ecológicas, sistema de ciclovias com ciclofaixas existentes e projetadas, que permeiam a várzea do Rio Pinheiros,

⁶ Franco (2010) relata que neste caso a IV é aplicada em uma área já impactada e poluída pelo desenvolvimento, seguindo um caminho inverso ao proposto por BENEDICT, em que o autor define que a IV deve ser planejada antes do desenvolvimento.

“devolvendo ao cidadão a reconquista dos espaços abertos urbanos propícios ao ato de caminhar e ao uso da bicicleta”. Após sua aplicação e experimento, esse modelo de IV, pode se replicar em situações semelhantes, e através dos princípios da ecologia urbanística, contribuir com a qualidade ambiental urbana e a qualidade de vida (FRANCO, 2010).

Os exemplos apresentados destacam diversas estratégias de implantação de infraestrutura verde, adaptadas às necessidades específicas de cada contexto urbano. Em Taizhou, a integração de sistemas naturais no planejamento metropolitano visa mitigar inundações e promover um desenvolvimento urbano equilibrado, assegurando a preservação dos recursos hídricos. O Cinturão Azul de Staten Island exemplifica a gestão hídrica eficaz através da separação de águas pluviais e esgoto, utilizando zonas úmidas para biorremediação e criando habitats para a vida selvagem. O Fator Biótopo de Berlim demonstra como políticas públicas podem incentivar a ecologização de áreas urbanas, mesmo em contextos densamente construídos, promovendo a multifuncionalidade dos espaços. Por fim, o Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos em São Paulo reflete a recuperação de áreas degradadas por meio de uma rede integrada de espaços verdes, promovendo a revitalização ambiental e social. Esses casos ilustram a flexibilidade e a eficácia da infraestrutura verde em diferentes escalas e contextos, contribuindo significativamente para a melhoria da qualidade de vida e a preservação ambiental.

3.4 METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA INFRAESTRUTURA VERDE

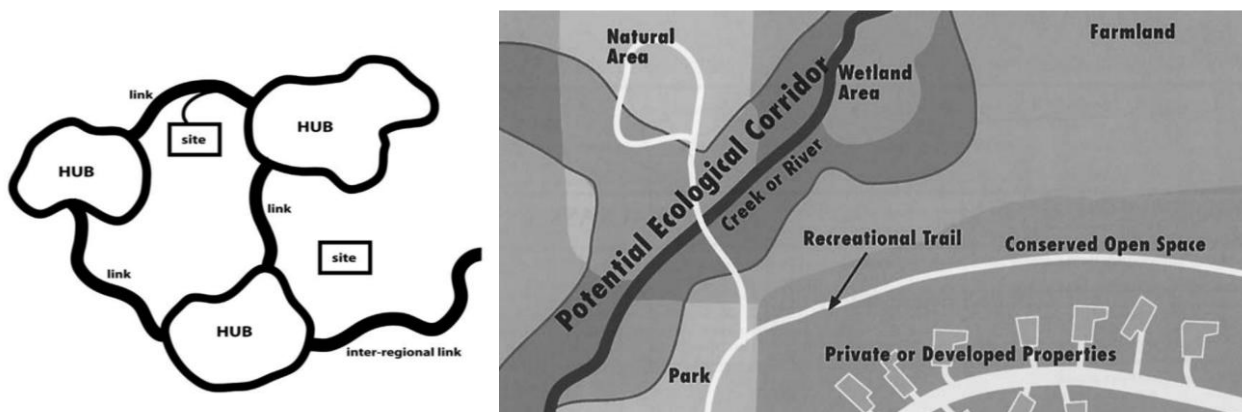
A partir dos exemplos apresentados, que destacam a aplicabilidade da infraestrutura verde em diferentes escalas e contextos urbanos, é possível observar a eficácia dessa abordagem no enfrentamento dos desafios urbanos contemporâneos. Nesse sentido, a metodologia de implantação de uma IV se revela fundamental para guiar as ações necessárias à sua implementação.

A infraestrutura verde identifica valores e objetivos compartilhados que auxiliam na tomada de decisões sobre o uso da terra, unificando vários interesses. Para isso, vai além dos métodos e estratégias tradicionais para promover e apoiar ações de conversação realizadas em conjunto com o desenvolvimento, planejamento da infraestrutura e crescimento inteligente. Para a sua implantação utiliza-se de planejamentos e abordagens de aplicações similares às usadas para a construção de rodovias, sistemas de gerenciamento de água e outras instalações de apoio. O primeiro passo para o desenvolvimento é determinar onde não desenvolver. Neste sentido, a infraestrutura verde direciona para as necessidades do desenvolvimento das comunidades mapeando os sistemas naturais. Assim, o desenvolvimento pode ser direcionado para longe das várzeas evitando enchentes e outros danos (BENEDICT; MCMAHON, 2006).

A rede da infraestrutura verde conecta o ecossistema através de um sistema de *matrizes*, *corredores* e *manchas*⁷ (Figura 07). As *matrizes* são as âncoras, pois fornecem o espaço adequado para as plantas nativas e as comunidades de animais, como a origem ou destino da vida selvagem, das pessoas e dos processos ecológicos desse sistema. São de tamanhos variados, incluindo reservas amplas e áreas protegidas. Os *corredores* são responsáveis por unir esse sistema que são essenciais para manter o processo ecológico vital, assim como a saúde e a biodiversidade silvestre. Geralmente são amplos e conectam parques existentes e áreas naturais permitindo o seu crescimento, conectando ecossistemas e paisagens (BENEDICT; MCMAHON, 2006)

Benedict e McMahon (2006) afirmam que essas conexões e os corredores de conservação - como rios e planícies aluviais - servem como condutores biológicos da vida selvagem e preservam o sistema nativo oferecendo atividades de lazer em locais a céu aberto, como em *parques lineares* e os *cinturões verdes*⁸. As *manchas* são menores que as *matrizes* e podem contribuir para os valores sociais e ecológicos, como a proteção do habitat natural proporcionando espaços para recreação e relaxamento baseados na natureza. A figura 7 mostra o sistema de matrizes (*hubs*), corredores (*links*) e manchas (*sites*), enquanto a figura 8 mostra o desenvolvimento da terra otimizando as necessidades das pessoas e da natureza.

Figuras 7 e 8 - Na direita, matrizes, corredores e manchas. Na esquerda, desenvolvimento da terra.



Fonte: Maryland Department of Natural Resources *apud* Benedict and McMahon (2006, p.13). Conservation Resource Alliance *apud* Benedict and McMahon (2006, p.13).

Yu (2006) relata que a infraestrutura verde pode também ser chamada de infraestrutura ecológica e integra os processos horizontais de desenvolvimento urbano com a proteção do meio ambiente. Fornece serviços ecossistêmicos para a sustentabilidade de uma região, e pode ser aplicada em diferentes escalas. Esse sistema garante o desenvolvimento dos aspectos ecológicos, culturais e

⁷ Em inglês (original): *hubs*, *links* e *sites*.

⁸ Em inglês (original): *greenways* e *greenbelts*.

espirituais, como: controle das águas, proteção da biodiversidade, fluxo de espécies, corredores patrimoniais e recreação.

Em grande escala, a infra-estrutura ecológica é representada como paisagem regional permanente de inundação, prevenção, redes ecológicas, corredores patrimoniais e corredores recreativos, que devem ser planejados para proteção e usado para definir o padrão de crescimento urbano e a forma da cidade. Na escala intermediária, a situação ecológica regional infra-estrutura deve ser integrada ao interior urbano estrutura e se tornar o sistema de espaços verdes urbanos que integra várias funções, como deslocamento, ciclismo, proteção do patrimônio e atividades recreativas. Em pequena escala, a infra-estrutura ecológica deve ser utilizada como a estrutura definidora para o desenvolvimento do solo urbano, e a ser usada para orientar o design específico do local. Esta infra-estrutura paisagística torna-se um elemento integrado por meio de vários processos, trazendo a natureza, o homem e espíritos juntos. É o padrão eficiente de segurança paisagística para salvaguardar a integridade ecológica e ambiental, cultural identidade e para suprir as necessidades espirituais das pessoas (YU, 2006, p. 31, tradução nossa).

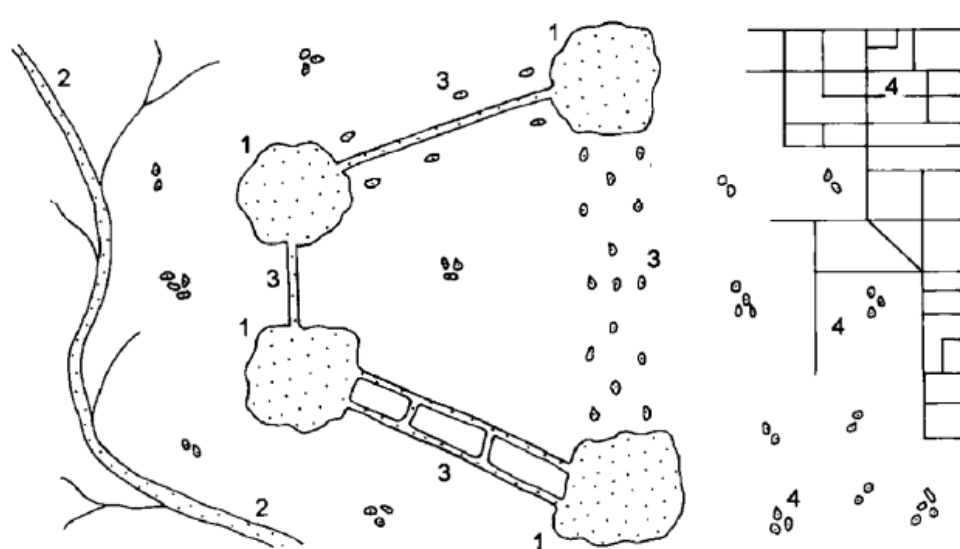
Benedict e McMahon (2006, p.14) continuam que, dentre as diversas escalas: a escala parcial pode ser aplicada no projeto de casas e negócios em torno de áreas verdes; nas comunidades com os parques lineares conectando os parques e praças públicas; em escalas regionais ou estaduais na proteção de florestas e espaços que fornecem o habitat aos animais. Além dos exemplos já citados, a infraestrutura verde pode incluir grandes extensões de terras públicas, como instalações militares (terras florestadas, pousios, desertos e terrenos abertos); terras ribeirinhas (rios, riachos, corredores de riachos e várzeas); terras frágeis (encostas íngremes, solos hídricos e zonas costeiras ou úmidas); terras de trabalho (agricultura, silvicultura, clubes de caça e reservas); áreas de recreação, (parques, campos de golfe e caminhadas/trilhas); terras privadas (propriedades corporativas/industriais, serviços públicos direitos de passagem de empresas e corredores ferroviários); lugares abandonados ou subutilizados (brownfields; ou corredores de transporte).

O desenvolvimento de um parque linear requer conciliar um conjunto de ações que abordam edificações, drenagem, esgoto, fauna e flora, migração de moradores da periferia para o centro da cidade, alterações na rede de transportes, e negociações com proprietários de terras, conciliação com os usos de preservação, lazer, turismo e outros dentro da área do parque linear, no nível da área de influência e as relações sociais, adaptando essas relações de acordo com o especificidades do local. [...] melhorias na drenagem do solo, com aumento da área permeável; proteção e manutenção do sistema natural; opções de lazer que pode ser combinado com educação ambiental e medidas que estimulem a coesão social; estruturação de paisagem urbana, com consequente desenvolvimento da região onde se desenvolve; bem como combater a ocupação ilegal (BARBOSA; DE ANGELIS, 2012, p. 366, tradução nossa).

Pellegrino e Cormier (2008) ressaltam a aplicação da IV para atender os desafios das infraestruturas urbanas existentes, principalmente aos relacionados à drenagem e qualidade de água. Neste sentido, em níveis regionais pode-se aplicar a IV utilizando tipologias como: jardim de chuva,

canteiro pluvial, biovaleta, lagoa pluvial, teto verde, cisterna, muro verde e conexões. Ahern (2007) menciona que para a aplicação de uma infraestrutura verde no planejamento urbano, esta deve relacionar-se com as diretrizes de planejamento que proporcionam a ecologia da paisagem e a sustentabilidade, e deve seguir cinco princípios, sendo eles: I. Articulação de um conceito espacial; II. Pensamento estratégico; III. Ecologização da infraestrutura; IV. Plano para o uso múltiplo; V. Aprender fazendo. A figura 9 mostra os padrões para o planejamento de uma paisagem: (1) manchas de vegetação natural, (2) corredor de rios ou riachos, (3) conectividade entre manchas, e (4) áreas verdes, em pedaços menores que as manchas:

Figura 9 - Padrões para o planejamento de uma paisagem.



Fonte: Forman (1995) *apud* Ahern (2007, p. 273).

Neste sentido, Barbosa e De Angelis (2012) fornecem um guia para o desenvolvimento dos parques lineares⁹. O guia é separado em duas categorias: diretrizes ambientais e diretrizes sociais. A categoria ambiental tem como propósito a recuperação e conservação da área, para isso é proposto: construção de bacias de estocagem e aumento na área permeável para reduzir velocidade e volume do escoamento; utilização correta dos dissipadores de energia nas saídas dos condutores para evitar a erosão; utilização das águas pluviais e incentivo do uso racional da água; instalação de infraestrutura verde ligando áreas verdes e espaços livres garantindo a preservação da biodiversidade, considerando também as conexões urbano-rurais; reflorestamento com espécies nativas, garantindo a manutenção

⁹ O guia é desenvolvido a partir de um estudo de caso feito para a recuperação do fundo de vale do riacho Mandacarú, em Maringá-PR. Os autores fizeram um levantamento e identificaram uma série de impactos ambientais no fundo de vale. Com base nas informações obtidas, desenvolveram um possível cenário e estabeleceram diretrizes para a aplicação dos conceitos de parque linear (BARBOSA; DE ANGELIS, 2012).

da biodiversidade, evitando a erosão das margens dos fundos de vale; combate a vegetação invasiva protegendo as espécies nativas; desapropriação para garantir a continuidade dos parques lineares; educação ambiental para evitar a poluição do fundo de vale e combate as conexões de esgoto clandestinas para garantir a qualidade da água e a biodiversidade aquática.

Afirmam, ainda, que a categoria social é essencial para garantir a utilização ativa destes espaços, para isso é proposto: participação pública no processo de desenvolvimento dos parques lineares para gerar um processo de identificação na população em relação ao fundo de vale; centro de estudos ambientais para estudar o ecossistema e aumentar a consciência ambiental; hortas comunitárias, fornecendo alimentos e apoiando o rendimento; atividades de lazer ativo, atendendo as necessidades da comunidade local; lazer passivo, para o relaxamento e contemplação; instalações culturais para garantir o uso ativo durante o ano todo e segurança para evitar o desuso (BARBOSA E DE ANGELIS, 2012).

Ahern (2007) ressalta que, para a infraestrutura verde ser viabilizada, deve ser praticada de forma transdisciplinar, atendendo às necessidades dos interessados e envolvendo a colaboração de cientistas, engenheiros e planejadores, que devem ser constantemente desafiados a inovar. Além disso, a implementação da IV requer um compromisso contínuo com o monitoramento e avaliações sistemáticas, tanto a curto quanto a longo prazo, para garantir sua eficácia e adaptação às mudanças no ambiente urbano e nas necessidades sociais.

A implantação da infraestrutura verde destaca-se por integrar princípios ecológicos, culturais e sociais em diversas escalas do planejamento urbano. Ao mapear sistemas naturais e identificar áreas estratégicas para conservação, essa abordagem não apenas previne danos ambientais, como também promove um desenvolvimento urbano mais equilibrado. A infraestrutura verde, ao conectar ecossistemas por meio de matrizes, corredores e manchas, assegura a manutenção dos processos ecológicos vitais, proporcionando espaços de lazer e contribuindo para a qualidade de vida nas cidades. A aplicação prática dessa infraestrutura, desde a criação de parques lineares até o uso de tecnologias como jardins de chuva e tetos verdes, evidencia seu papel essencial na preservação ambiental e no fortalecimento das comunidades urbanas. Por fim, a transdisciplinaridade e o monitoramento contínuo são fundamentais para garantir a eficácia e a adaptabilidade da infraestrutura verde ao longo do tempo.

3.5 LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

Embora este estudo tenha fornecido uma revisão sobre a infraestrutura verde e suas aplicações em diferentes contextos urbanos, ele apresenta algumas limitações, principalmente por se basear em

exemplos documentados em estudos existentes, o que pode não refletir a totalidade das experiências e adaptações locais em diferentes regiões do mundo. Além disso, a revisão não abordou em profundidade as possíveis dificuldades na implementação dessas infraestruturas em áreas com recursos limitados ou em contextos sociopolíticos adversos.

Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos empíricos que investiguem a aplicação da infraestrutura verde em diferentes realidades, especialmente em países em desenvolvimento, e que explorem estratégias inovadoras para superar os desafios associados à sua implementação. Estudos longitudinais também seriam valiosos para avaliar os impactos a longo prazo dessas infraestruturas sobre o ambiente urbano e a qualidade de vida das populações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões desenvolvidas ao longo deste estudo demonstram a relevância da infraestrutura verde como uma estratégia de planejamento urbano capaz de integrar aspectos sociais, ecológicos, culturais e econômicos de maneira harmoniosa. Ao revisitar conceitos e metodologias, percebe-se que a infraestrutura verde não apenas mitiga os impactos adversos do crescimento urbano, como também promove a resiliência das cidades frente às mudanças climáticas, enchentes e outros desafios ambientais.

Os exemplos internacionais e nacionais discutidos, como Taizhou, Staten Island, Berlim e o Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos, ilustram a diversidade de abordagens e escalas de aplicação da infraestrutura verde. Esses casos demonstram como a integração de elementos naturais no tecido urbano pode transformar a qualidade de vida das populações, ao mesmo tempo em que assegura a preservação dos ecossistemas.

A revisão das metodologias de implantação também ressalta a importância de uma abordagem adaptável e multifuncional, capaz de atender às necessidades específicas de diferentes contextos urbanos. A infraestrutura verde, ao conectar ecossistemas e criar redes de espaços verdes, estabelece as bases para um desenvolvimento urbano sustentável que valoriza tanto a natureza quanto o bem-estar humano.

Assim, este estudo reforça a necessidade urgente de ampliar a adoção dessas práticas em nível global, reconhecendo a infraestrutura verde como uma solução indispensável para os desafios da urbanização contemporânea. A continuidade do monitoramento e a adaptação dessas estratégias são essenciais para garantir a eficácia e a sustentabilidade a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- AHERN, J. **Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension**. In: NOVOTNY, V.; BROWN, P (Orgs.). *Cities of the Future –Towards Integrated Sustainable Water Landscape Management* . London: IWA Publishing, 2007.
- BARBOSA, L. C.; DE ANGELIS, B. L. D. The greenway as a means to recover valley floor areas: A proposal for the Mandacarú stream, Maringá, Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 34, n. 4, p. 365-372. Maringá: out-dez, 2012.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. **Green infrastructure: linking landscapes and communities**. Washington, DC: Island Press, 2006.
- FRANCO, M. A. R. Infraestrutura verde em São Paulo: O caso do Corredor Verde Ibirapuera-Villa Lobos. **Revista Labverde**. nº1. p. 135-154. São Paulo: Revista USP, 2010.
- GOOGLE ACADÊMICO. **About Google Acadêmico**. How are documents ranked? 2007. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/intl/pt-BR/scholar/about.html>>. Acesso em: 25/01/2024.
- MADUREIRA, H. Infra-estrutura verde na paisagem urbana contemporânea: o desafio da conectividade e a oportunidade da multifuncionalidade. **Revista da Faculdade de Letras, geografia**. III série, vol. I, 2012, pp. 33 -43. Porto: Universidade do Porto, 2012.
- PELLEGRINO, P. R. M.; CORMIER, N. S. Infraestrutura-verde: Uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem Ambiente: Ensaios**. n. 25. p. 125-142. São Paulo: Revista USP, 2008.
- SANTOS, M. F. N; ENOKIBARA, M. **Infraestrutura verde: Conceitos, tipologias e terminologia no Brasil**. **Paisagem Ambiente: Ensaios**. v. 32, n. 47, São Paulo: Revista USP, 2021.
- SCHUTZER, J. G. Infraestrutura verde no contexto da infraestrutura ambiental urbana e da gestão do meio ambiente. **Revista Labverde**. nº8. Art. nº 1. São Paulo: Revista USP, 2014
- VASCONCELLOS, A. A. **Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana**. Curitiba, PR: Appris Ltda. 1. ed. 2015.
- YU, K. **The Art of Survival: Position Landscape in architecture**. Victoria: The Images Publishing Group Pty, 2006.